第46卷 第12期
2023年12月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 46 No. 12
Dec. 2023

湟水流域西宁段产业结构升级与生态效率提升的耦合路径识别

陈超超， 马丁丑， 陈强强

（甘肃农业大学财经学院，甘肃 兰州 730070）

摘 要： 协调好湟水流域产业结构升级与生态保护的关系，对推动黄河流域高质量发展、祁连山生态屏障建设及区域可持续发展意义重大。基于湟水流域西宁段7县区2010—2021年面板数据，运用Super-Undesirable SBM模型和扩展的耦合协调模型对产业结构升级、生态效率提升及两系统耦合协调水平进行测算评价，并借助坐标分类法对路径进行识别。结果表明：(1) 样本区产业结构升级与生态效率提升水平区域差异显著，且呈现出"中心凸出、两边薄弱"的空间分布。(2) 样本区内各县区整体耦合协调水平不高，区域差异显著，且大部分处于过渡耦合阶段，弹性较弱。(3) 产业结构升级固化是该区域耦合协调水平较低的主要制约；耦合路径发展中应重点关注"双低"类型区域，同时避免陷入"低水平协调"陷阱。最后从内部突破资源约束与外部实现制度均衡分配2个维度提出相关发展建议。研究结果可为实现湟水流域西宁段高质量发展提供参考。

关 键 词： 产业结构升级；生态效率提升；耦合协调度；耦合路径识别；湟水流域

文章编号： 1000－6060(2023)12－2042－10(2042～2051)

湟水河是发源于祁连山支脉，流经诸多城市的黄河上游的重要支流之一。湟水流域西宁段是湟水流域的核心区域，既承担着湟水下游地区生态保护和水源保障的重担，也承担肩负着区域经济发展的重任。近年来，该区域在国家重大战略发展机遇下，生态价值优势不断厚植，产业结构持续优化，综合经济实力不断提升。但同时，该区域身处生态文明建设攻坚期，生态环境脆弱性[1]与产业结构调整难度大[2]等问题依然存在，制约着区域经济转型和社会可持续发展，与西宁市建设高水平公园城市愿景不符。西宁市"十四五"规划指出，保护和发展湟水流域是守好国家生态安全屏障门户、建设高水平公园城市的重中之重[2]。因此，协调好湟水流域生态保护与产业结构升级，对推动黄河流域的生态保护和高质量发展、祁连山生态屏障建设及西部地区生态安全和区域可持续发展有着重要的意义。

产业结构升级与生态效率提升均是推动区域高质量发展的重要手段。产业结构升级能够促使资本、劳动、技术等生产要素更加合理地流动，防止资源错配，降低生态成本损耗，促进生态效率提升。生态效率提升则意味着资源利用的综合效益提高，各要素间的协作程度高且相对平衡，有助于产业间和产业内部的分工和协作，推动产业结构从低端化、失调化向合理化和高级化转变，提高系统整体优化能力，形成区域发展新增长点，促进产业结构转型升级(图1)。值得注意的是，生态环境对经济发展承载力的有限性和不可逆性，其优劣往往能够决定产业结构能否实现绿色高效发展，而产业结构的不合理和低效化，则会导致资源浪费和环境破坏，阻碍区域高质量发展。因此，两者之间的耦合协调关系将直接影响着区域生态安全及高质量发展进程。

当前学者对于两者之间关系的研究比较丰富，从单向角度来看，学者发现产业结构升级能够

收稿日期： 2023-05-27； **修订日期：** 2023-06-19
基金项目： 国家社会科学基金项目(21BJY117)资助
作者简介： 陈超超(1998-)，男，硕士研究生，主要从事区域经济学、产业经济学研究. E-mail: 1528765638@qq.com
通讯作者： 马丁丑(1973-)，男，硕士，教授，主要从事农业经济学、产业经济学研究. E-mail: 2071415545@qq.com

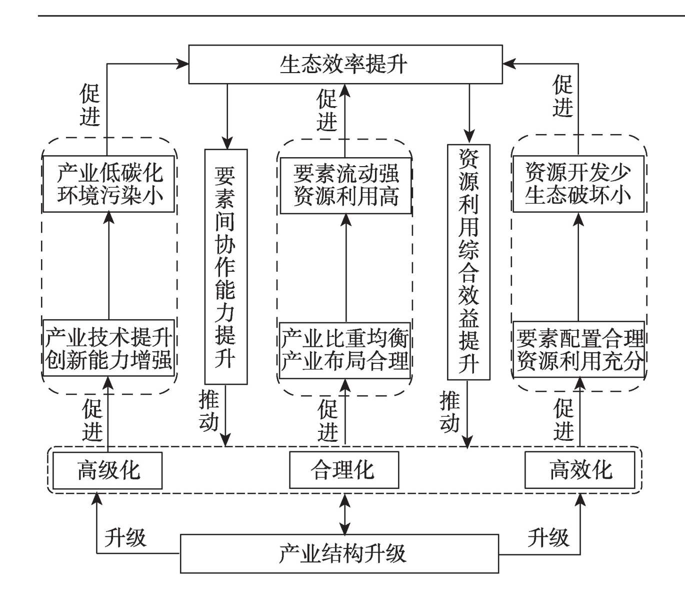


图1 产业结构升级与生态效率提升的耦合机理

Fig. 1 Coupling mechanism of industrial structure upgrading and eco-efficiency enhancement

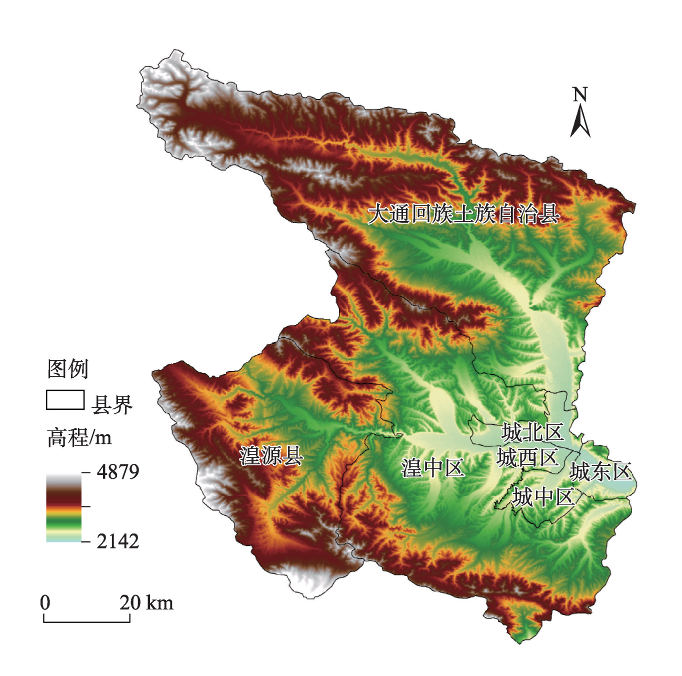
提高资源利用效率、减少环境污染、促进生态效率提升[3]；且对生态效率的提升存在本地效应[4]、空间溢出效应[5]和正外部性[6]，该效应随着经济发展水平的提升，愈发显著[7]。生态效率提升则对产业结构升级存在倒逼作用[8]，呈现出"U"型负向关系，但随着发展会逐渐减弱[6]，且对产业结构升级的路径选择具有一定影响[9-10]。从双向关系来看，学者基于省市级数据以长江经济带和黄河流域为研究对象，采用耦合协调模型[11]、空间计量模型[12]、PVAR模型[13]等对产业结构升级与生态效率提升的耦合协调度进行测量并进行时空演变特征和动态关系分析，发现两者之间存在正向交互作用[14]且存在空间异质性[15]。

综上所述，学者对产业结构升级与生态效率提升的研究已经较为全面，但仍存在一定局限性。一是研究对象多是基于省市级数据对各大流域或经济带等进行研究，鲜有对小水域的相关问题进行研究，对区域实际发展诉求关注不足。二是相关研究对于具体地方措施实施的适应性不高。鉴于此，本研究以湟水流域西宁段的具体发展诉求为切入点，并以2010—2021年湟水流域西宁段7个县区为研究对象，采用Super-Undesirable SBM模型、耦合协调模型和坐标分析法对生态效率提升、产业结构升级和耦合协调度水平进行测度评价，并对耦合路径进行识别，随后结合区域资源及诉求提出切实可行的路径实现方式，以期为西宁市建设高水平公园城市，推动湟水流域可持续发展提供参考建议，同时对黄河上游其他类似地区的生态安全和高质量发展提供有益借鉴。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

湟水河是流经青藏高原和黄土高原过渡区的黄河上游的重要支流之一，也是该区域重要的生态屏障，由湟水干流和大通河构成。研究区主要包含西宁市的城东区、城中区和湟源县等7个县区，是湟水流域的主体城市之一，也是青海省经济发展的精华地带。该区域的产业结构以第三产业为主，主要包括商贸、服务、文化等行业；第二产业主要包括食品、冶金、制药等；第一产业则主要以种植业和畜牧业为主。生态环境则受到人口增长、城市化进程、工业化发展等因素影响，存在着水资源短缺、水污染严重、水生态退化等问题。显著的地域及经济差距，基本上可以反映整个湟水流域产业结构升级与生态效率提升的发展状况，故选择该区域作为样本区（图2）。



注：该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2020)4619号的标准地图制作，底图边界无修改。下同。

图2 西宁市示意图

Fig. 2 Schematic diagram of Xining City

1.2 数据来源

本研究所采用的数据主要包含地区GDP、一二三产GDP、劳动力人数、固定资产投资额、能源消耗量、SO_2排放量等。数据主要来源于《西宁市统计年鉴》《中国县域统计年鉴》及地区统计公报等。其中，能源消耗量用各县区全社会用电量数据转化为标准煤来衡量。由于缺乏西宁市及各县区的固定资产价格指数，因此借鉴青海省2010—2019年固定资产价格指数。对于缺失的固定资产价格指数及部分年份缺失的劳动力、SO_2排放量、全社会用电量及其他数据，均在借鉴上级相关数据基础上进行插补。各县区GDP数据以2010年为基期进行了平减。

1.3 研究方法

1.3.1 Super-Undesirable SBM模型 Super-Undesirable SBM模型是拓展的数据包络(DEA)模型，其解决了DEA径向模型的缺点，且通过对决策单元(DMU)的二次评价，在考虑非期望产出情况下，可以有效区分DMU效率差异[16-18]。本研究中作为DMU的湟水流域西宁段的7个县区，由于在多数模型测试中存在多个单元无效的情况，且考虑到湟水流域特殊的生态地位，需要重点关注非期望产出。因此，为更客观地反映湟水流域西宁段各县区生态效率的差异，本文借鉴高志刚等[19]采用产出导向的Super-Undesirable SBM模型对生态效率提升进行测算(式1)。

$$\rho^* = \min \frac{\frac{1}{a}\sum_{i=1}^{a}\frac{x^-}{x_{ik}}}{\frac{1}{\beta_1+\beta_2}\left(\sum_{r=1}^{\beta_1}\frac{y^{-g}}{y_{rk}^{g}}+\sum_{q=1}^{\beta_2}\frac{y^{-b}}{y_{qk}^{b}}\right)}$$

$$\text{s.t.}\begin{cases} x^- \geqslant \sum_{j=1,\neq k}^{n}\varphi_j x_j \\ y^{-g} \geqslant \sum_{j=1,\neq k}^{n}\varphi_j y_j^g \\ y^{-b} \geqslant \sum_{j=1,\neq k}^{n}\varphi_j y_j^b \\ x^- \geqslant x_k,\ y^{-g} \leqslant y_k^g,\ y^{-b} \geqslant y_k^b \end{cases} \tag{1}$$

$$\varphi_j \geqslant 0;\ i=1,2,\cdots,a;\ j=1,2,\cdots,n;$$
$$r=1,2,\cdots,\beta_1;\ q=1,2,\cdots,\beta_2$$

式中：ρ^*为生态效率提升值，其值可大于1；n为决策单元数量；a、β_1和β_2分别为投入、期望产出和非期望产出的数量；x_{ik}为第k个被评价单元的第i种投入；y_{rk}^g和y_{qk}^b分别为第k个被评价单元的第r种期望产出和第q种非期望产出；x^-、y^{-g}、y^{-b}分别为投入松弛量、期望产出松弛量和非期望产出松弛量；x_j、y_j^g、y_j^b分别为投入矩阵、期望产出矩阵和非期望产出矩阵中的第j个量；x_k、y_k^g、y_k^b分别为第k个被评价单元的投入量、期望产出量及非期望产出量；φ_j为第j个决策单元的权重向量。

1.3.2 耦合协调模型 耦合是2个或多个系统间相互作用的现象。传统模型只考虑耦合发展度，仅仅反映了子系统交互的复杂性，忽略了耦合协调度的重要性。耦合协调度则能够反映子系统良性耦合的程度，体现协调和谐的发展水平和功能平衡[20]。本文借鉴该观点，构建了衡量生态效率提升与产业结构升级发展度的耦合发展模型(式2)、衡量两系统协同度的系统协调模型(式3)及综合考虑两者的耦合协调度模型(式4)。

$$C = 2\sqrt{\frac{U_1U_2}{\left(U_1+U_2\right)^2}} \tag{2}$$

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 \tag{3}$$

$$D = \sqrt{C\times T} = \sqrt{C(\alpha U_1+\beta U_2)} \tag{4}$$

式中：C为发展度，表示两系统之间的耦合发展水平；U_1、U_2分别为产业结构升级子系统及生态效率提升子系统的综合期望值；T为协调度；α与β为待定系数，基于湟水流域西宁段在黄河流域生态保护及祁连山生态保护区的重要地位等因素考虑，本研究认为生态效率提升应略高于产业结构升级，故生态效率提升权重取0.6，产业结构升级权重取0.4；D为耦合协调度。借鉴唐晓华等[21]对耦合协调度等级的划分，将其划分为3个类型10个等级(表1)。

表1 耦合协调发展模型

Tab. 1 Coupled coordinated development model

类型	耦合协调度(D)	等级
协调类	(0.9, 1.0]	优质协调
	(0.8, 0.9]	良好协调
	(0.7, 0.8]	中级协调
	(0.6, 0.7]	初级协调
过渡类	(0.5, 0.6]	勉强协调
	(0.4, 0.5]	濒临失调
	(0.3, 0.4]	轻度失调
失调类	(0.2, 0.3]	中度失调
	(0.1, 0.2]	严重失调
	(0.0, 0.1]	极度失调

1.3.3 耦合路径识别 本文试图探讨如何识别各县区的耦合路径，以提高湟水流域西宁段各县区的耦合水平。因此，借鉴周迪等[22]的坐标分类法，将所有地区的耦合关系按照协调度和发展度的高低分为4种类型：协调度和发展度均较高(A)、协调度较低而发展度较高(B)、协调度和发展度均较低(简称“双低”，C)和协调度较高而发展度较低(D)。随后以分类结果为基础，在分布动态学框架下构建了湟水流域西宁段“产业结构升级-生态效率提升”的两系统耦合路径。分布动态学模型从长期角度来看能够研究区域事物的动态演进，很好的反映各地区两系统在发展过程中发生状态转移及其可能性的内部动态变化。本文从内部动态变化的视角切入，比较区域间两系统的动态变化情况，进而比较两者在区域间“追赶”与“固化”程度，提出以下路径：

路径一：若产业结构升级滞后于生态效率提升，地方政府应该重点扶持产业结构升级长期处于低水平的地区，如B_2和C_2类型，尤其是产业结构升级水平滞后的区域。这样做有2个好处：一是打破产业结构升级的惯性，避免“双低”地区陷入“低水平协调陷阱”，实现地区间的动态平衡。二是激励处于“双低”类型的地区实现突破。

路径二：若生态效率提升的滞后程度更严重，此时，地区政府应该重点扶持生态效率提升水平长期处于低水平的区域。具体应该重点扶持B_1、C_1类型地区，走B_1→A或C_1→A的耦合路径。

1.4 指标选取

1.4.1 产业结构升级指标 传统研究产业结构升级指标主要考虑高级化和合理化，而湟水流域西宁段作为空间资源匮乏区及生态重点关注区，仅仅考虑高级化和合理化不太充分，还需考虑产业产出效率[20]。因此，借鉴吴传清等[20]这一逻辑，综合考虑研究区状况，从高级化、合理化和高效化3个维度衡量湟水流域产业结构升级的水平，且认为三者同等重要，各占1/3。其中，产业结构高级化(TA)是产业从低端向高端产业转移，也即资源总是向附加值更高的产业转移，可用第三产业和第二产业增加值的比重，即服务化倾向衡量。产业结构合理化(TR)即产业结构之间的比例和份额符合经济发展需要，使要素资源配置达到相对均衡。本研究借鉴干春晖等[23]的做法，采用泰尔指数来衡量产业结构合理化。产业结构高效化(TE)是产业结构不断优化升级的新阶段，反映了生产效率、资源配置和社会经济效益的提高。固定资产投资效果系数反映了固定资产投资对GDP的影响，用来衡量投资与产出效率，故可用来衡量产业结构高效化(表2)。

表2 产业结构升级指标

Tab. 2 Industrial structure upgrading indicators

一级指标	二级指标	计算公式
产业结构高级化(TA)	服务化倾向	$服务化倾向=\frac{第三产业增加值}{第二产业增加值}$
产业结构合理化(TR)	泰尔指数	$TL=\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Y_i}{Y}\right)\ln\left(\frac{Y_i}{L_i}\bigg/\frac{Y}{L}\right), i=1, 2, 3$ 式中：TL为泰尔指数；Y_i为第i个产业产值占比；L_i为第i个产业劳动力占比；Y为总产值；L为总劳动力。
产业结构高效化(TE)	固定资产投资效果系数	$固定资产投资效果系数=\frac{国内生产总值逐期增长量}{上一年全社会固定资产投资完成额}$

1.4.2 生态效率提升指标 衡量生态效率提升指标主要从投入和产出2个角度来衡量。投入主要用资本、资源和劳动力3项指标来衡量(表3)。其中，劳动力投入以西宁市7县区第一、二、三产业年末就业人数来表示(不考虑劳动力种类)。资源投入以各县区全社会用电量转化为标准煤来表示。资本投入用资本存量来衡量，本研究依据数据的可获得性，以固定资产投资作为当期投资指标，采用永续盘存法估算资本存量，计算公式如式(5)：

$$K_t=\frac{I_t}{V_t}+(1-\delta_t)K_{t-1} \tag{5}$$

式中：K_t为t年的资本存量(10^4元)；K_{t-1}则表示$t-1$年的资本存量(10^4元)；I_t为t年的资本投入(10^4元)；δ_t为t年的固定资产折旧率，采用张军等[24]研究方法，全社会固定资产折旧率取9.6%；V_t为t年的固定资产价格指数，由于缺乏县市级固定价格指数，采用

表3 投入产出指标

Tab. 3 Input-output indicators

一级指标	二级指标	计量方式
投入	资本投入	资本存量/10^4元
	劳动力投入	三次产业就业人数/人
	资源投入	能源消耗/t
产出	期望产出	地区GDP/10^4元
	非期望产出	SO_2排放总量/t

青海省固定价格指数，缺失2020—2021数据采用多重插补补充。

2 结果与分析

2.1 产业结构升级与生态效率提升水平

基于湟水流域西宁段7县区2010—2021年面板数据，采用Super-Undesirable SBM模型等方法对生态效率提升及产业结构升级水平进行测量得知：湟水流域西宁段产业结构升级水平区域差异显著，时序特征上呈现"U"型发展趋势。城西区的产业结构升级（2.9866）水平最高，源于该区域以现代服务业为主，第三产业产值远远高于其他产业，高级化和高效化水平较高。其次是城中区（0.8147），该区域服务业发展略低于城西区，但其第二产业在不断上升，产业结构合理化程度相对较高。城北区（0.2648）则相反，第二产业占主导地位，产业结构高级化程度较低，故产业结构升级水平较低。从均值空间分布来看，两系统均表现为"中心凸出、两边薄弱"的空间格局，且呈现出西南高、西北低的分布态势（图3）。从时序特征来看，生态效率提升和产业结构升级均呈现出不断上升趋势。其中，城西区（0.8939）和城中区（0.6030）的生态效率提升水平相对较高，但城西区的生态效率提升水平波动较大，呈现出"W"发展趋势。值得注意的是，湟源县（0.0515）和城东区（0.3299）的生态效率提升的水平均值并不高，这2个区域作为湟水干流在西宁段出入口，其值的高低对整个西宁段乃至下游地区的生态环境均会产生影响，因此需要重点关注。

2.2 产业结构升级与生态效率提升的耦合协调关系

运用耦合协调模型测算耦合协调度得知：从均值来看，各县区的耦合协调均值在0.19~0.84之间，区域间差异较大。只有城西区（0.8357）处于良好协调水平，表明该区域两系统的耦合协调水平较好。大部分县区的耦合协调水平属于过渡类。其中，城中区（0.5413）处于勉强协调水平，城东区、城北区和湟中区处于轻度失调水平，该类型的耦合协调水平相对较低，但经过地方政府重点关注，两系统耦合协调水平提升相对容易。西宁市7县区中只有大通县和湟源县属于失调类，表明这2个区域两系统协调较差。从时序特征来看，除城北区和湟中区呈现下降趋势外，其他县区呈现上升或保持平稳趋势。城中区和城北区耦合协调水平均呈现"W"型发展趋势，大通县、湟源县等县区则表现为不规整的"U"发展趋势（图4）。其中，城中区分别在2013和2020年达到最高点后开始下降，在2019年达到拐点后快速上升，耦合协调水平从中度失调水平（0.280）上升为

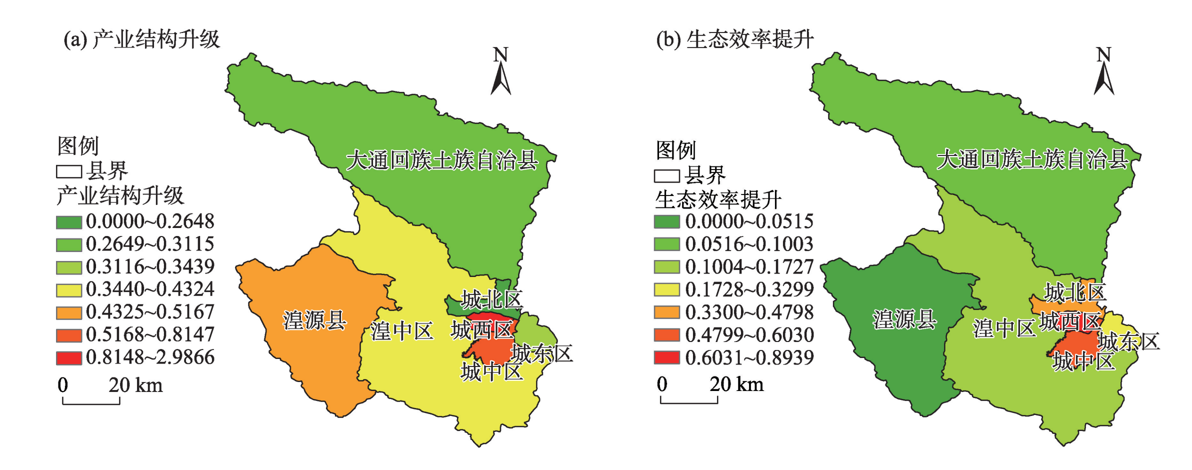


图3 2010—2021年湟水流域西宁段产业结构升级和生态效率提升水平均值

Fig. 3 Mean value of industrial structure upgrading and eco-efficiency enhancement in Xining section of Huangshui Basin from 2010 to 2021

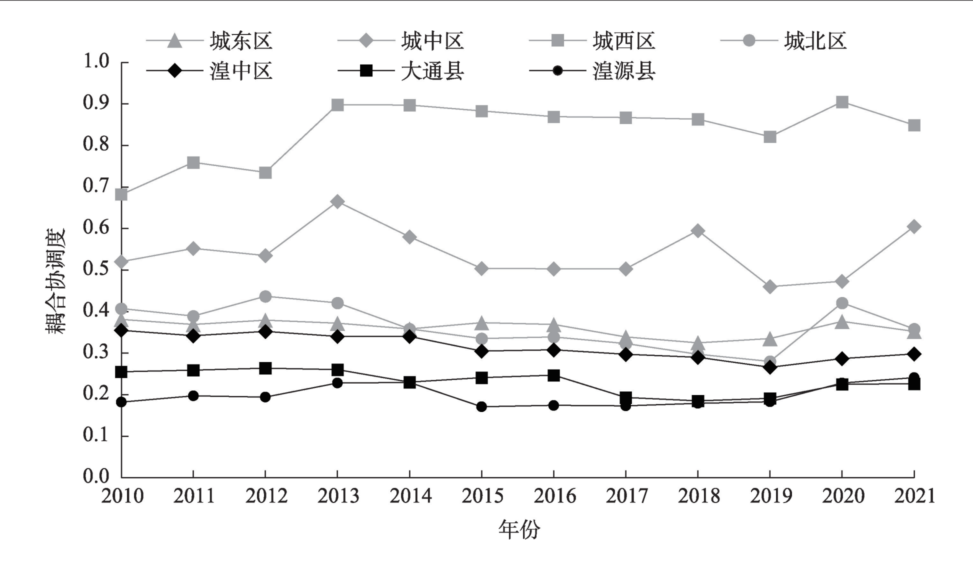


图4　2010—2021年湟水流域西宁段各县区两系统耦合协调度

Fig. 4　Coupling coordination degree of two systems in Xining section of Huangshui Basin from 2010 to 2021

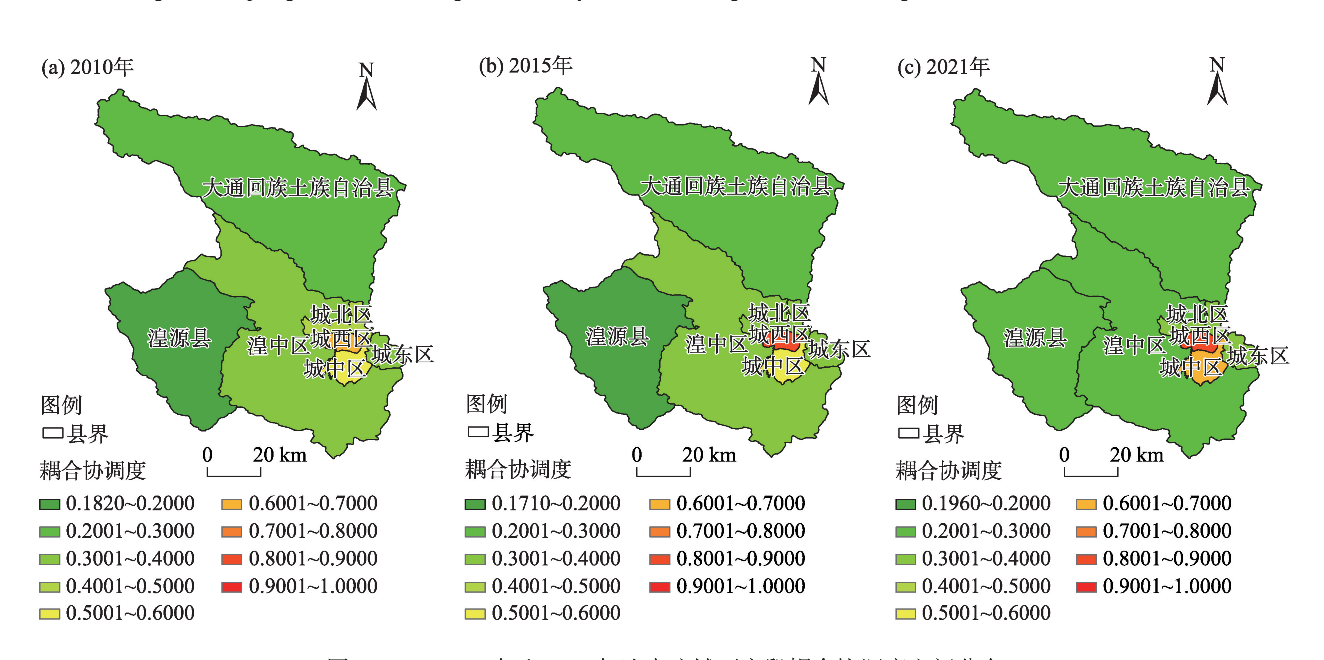


图5　2010、2015年和2021年湟水流域西宁段耦合协调度空间分布

Fig. 5　Spatial distributions of coupling coordination degree in Xining section of Huangshui Basin in 2010, 2015 and 2021

濒临失调水平(0.421)。不同的是,其他县区可能受产业结构调整要素限制或县域政策滞后性等影响,在达到拐点后并未出现大幅上升,上升弹性不足。从空间分布来看,产业结构升级与生态效率提升的耦合协调水平表现为"中心凸出、两边薄弱"的空间特征。城西区和城中区的两系统耦合协调水平表现为强者愈强,而湟源县、大通县和湟中区耦合协调水平则逐渐趋向一致,但远远落后于前者(图5)。

2.3　产业结构升级与生态效率提升耦合协调的识别

2.3.1　耦合类型　采用坐标分类法绘制了样本区两系统归一化后期望值的散点图,并根据各县区的耦合特征划分为下面4种类型。图6中2条从原点出发关于 $Y=X$ 对称的射线为平均协调度,反比例曲线为各区域在考察期内的平均发展度。

协调度和发展度均较高(A)类型。属于该类型的只有城西区。该类型的产业结构升级和生态效率提升水平均较高,且两系统的耦合协调水平也相对较高,为区域发展的模范。

协调度较低而发展度较高(B)类型。该类型又根据产业结构升级与生态效率提升的高低划分为发展较优产业滞后型(B_1)和发展较优生态滞后型(B_2)。研究对象中只有城中区属于B_1类型。该区域

的发展水平相对较高,但协调度不高,主要是产业结构升级与生态效率提升的相互滞后所致。

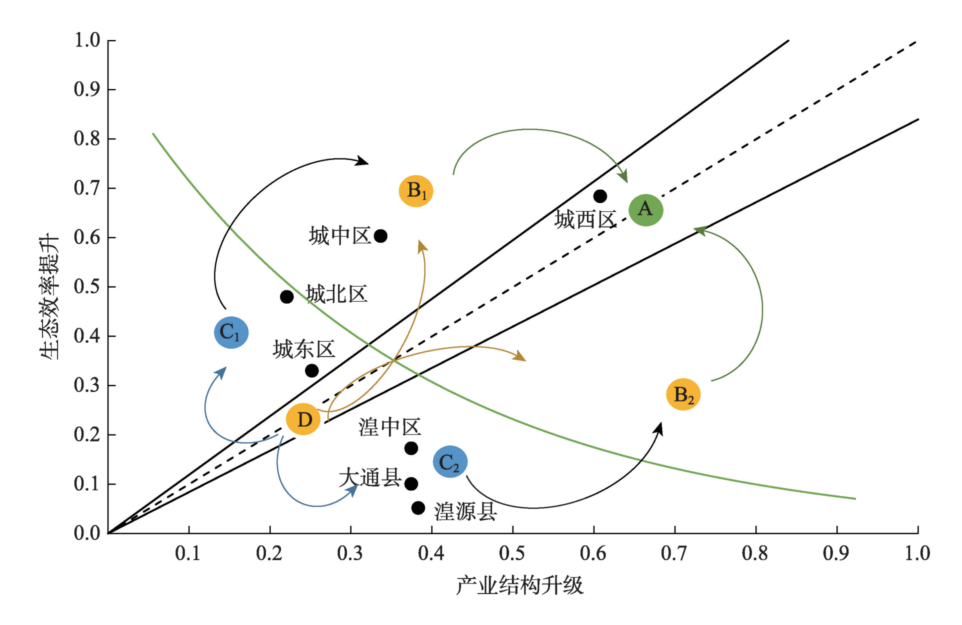
协调度和发展度均较低(C)类型,又称为“双低”类型。该类型又根据产业结构升级与生态效率提升的高低为双低产业滞后型(C_1)和双低生态滞后型(C_2)。只有城北区和城东区属于C_1类型。虽然城北区发展度水平优于城东区,但协调度水平相对落后。属于C_2类型的有湟中区、湟源县和大通县,这3个县区的生态效率提升水平极低。

协调度较高而发展度较低(D)类型。该类型表现为协调度较高但整体质量不高,属于“低水平协调”类型,需要采取针对性措施改变这种局面。导致该局面的原因可能有2个:一是区域间产业结构升级和生态效率相互作用,导致两系统水平均较低。二是区域缺乏突破“低水平协调”的动力,特别是对于县区经济的发展,受资金、人才和资源等要素制约,往往缺乏突破动力;且在发展度和协调度提升过程中,还可能会遇到协调性下降的问题,因此要重点防范。虽然本研究中没有县区属于该类型,但要防止其他类型发展过程中陷入该区域,尤其是城东区。

2.3.2 耦合路径 分析得知湟水流域西宁段产业结构升级滞后于生态效率提升,且根据湟水流域在黄河流域及西北生态安全保护的特殊地位,并考虑西宁市“十四五”战略规划对区域定位的要求,为实现湟水流域西宁段的两系统的耦合提升,需要重点倾向于提高产业结构升级水平。因此,应该选择路径一,具体如下:

西宁市政府应重点关注产业结构升级长期滞后的B_1和C_1类型的县区,尤其是长期处于过渡类,两系统耦合协调水平有下降趋势的城北区及耦合协调水平长期属于轻度失调的城东区。对于城北区,应强化绿色政策引导,既要大力发展现代服务业,又要引进高新技术产业,助力本地企业绿色高效化转型,多点发力推动产业结构合理化和高效化发展,提高资源利用效率,减少环境破坏,促进生态效率提升,实现两系统的耦合发展。对于城东区,通过发挥青藏铁路起点和“夏都”东大门的优势地位,大力发展以现代物流体系为主的服务业,打造并维持好向西发展的关键贸易枢纽通道,做好人货协调服务体系,促进要素高效流动,提高资源使用效率,降低资源消耗和生态破坏,进而实现C_1→A或C_1→B_1→A的耦合发展路径(图6)。

此外,对于C_2类型的湟中区、湟源县和大通县,虽然其产业结构升级相对优于生态效率提升,但其整体仍处于低点,仍需优先促进产业结构升级。具体来看,湟中区与西宁市四大主城区均接壤,拥有得天独厚的区域优势;其发展既要发掘内部民族文



注:A为协调度和发展度均较高类型;B为协调度较低而发展度较高类型;B_1为发展较优产业滞后型;B_2为发展较优生态滞后型;C为协调度和发展度均较低类型;C_1为双低产业滞后型;C_2为双低生态滞后型;D为协调度较高而发展度较低类型。

图6 湟水流域西宁段各县区产业结构升级与生态效率提升的耦合分类及实现路径

Fig. 6 Coupling classification and realization path of industrial structure upgrading and eco-efficiency enhancement in the counties and districts of Xining section of Huangshui Basin

化、乡土文化和旅游资源，不断丰富农业和文化附加值，实现产业融合，还要不断吸收高效率、低污染的辅助企业，在助力主城区发展同时，推动本区域产业高级化、合理化发展，实现资源要素的充分利用。大通县作为“夏都”北大门，是丝绸之路北线的主要通道之一。可依托“一带一路”倡议及陆上交通枢纽功能，以打造西宁北部菜园为主的现代农业及推动老工业基地转型升级为主，通过政策、金融等资源倾斜，引进配套产业，推动三产融合，实现产业结构合理化、高效化发展，提高资源利用效率，实现生态效率提升。湟源县作为湟水干流的入水口，可依托区位优势，实现农业规模化生产，并引进配套产业，实现产业融合，通过打造和维护好县域农产品品牌，形成正反馈闭环，持续推动产业结构升级，减少环境破坏，实现C_2→A或C_2→B_2→A的耦合提升路径(图6)。值得关注的是，这些县区处于生态脆弱区，若想实现两系统的协同发展，还需上下级政府协同多元主体全局谋划，推动政策均衡实施，实现要素资源合理分配。

同时，需要注意的是，在发展过程中为防止陷入由于在低水平状态下达到一定均衡后满足于现状不愿进行革新的“低水平协调”陷阱，尤其是对于县域经济发展，在生产力要素等刚性约束限制下，一旦陷入，难以实现自身突破，因此在耦合协调发展过程中，要尽量避免出现C→D或B→D的耦合发展路径。

3　讨 论

总体来看，产业结构升级固化于生态效率提升是湟水流域当下面临的主要问题，推动产业结构升级是该区域实现两系统协调发展的首要选择。与前人以省市级数据为基础研究相比[14-15]，本文从县区级数据出发对产业结构升级与生态效率提升耦合协调关系的研究发现，研究区内各县区的受政策不均衡及发展滞后性等影响，耦合协调回升的弹性较弱，且具有明显的滞后性。本文的创新点是在衡量产业结构升级及两系统耦合权重确定部分，更多的考虑区域特征和实际发展需要，且从流域发展限制本身出发，内外兼顾寻求区域发展的具体路径，对区域实际发展具有一定的指导意义。但本文对产业结构升级与生态效率提升的指标选取尚存在不足之处，今后要从县域数据的可获得性等方面考虑，对指标体系进行完善。还要强化对制约湟水流域发展的影响因素的研究，进一步把握湟水流域西宁段实现可持续发展的客观规律，进而为湟水流域全流域乃至整个黄河流域上游相似地区高质量稳固生态安全格局，推动区域实现高质量发展提供借鉴意义。

4　结论与建议

(1) 湟水流域西宁段各县区产业结构升级与生态效率提升水平差异显著；在空间分布上表现为“中心凸出、两边薄弱”的格局，且呈现出西南高、西北低的分布态势；在样本期内两系统均呈现不断上升趋势。

(2) 湟水流域西宁段各县区耦合协调水平总体较低，均值在0.19～0.84之间，区域差异显著，只有城西区处于良好协调水平，多数县区属于过渡类耦合水平。其中，城中区和城北区呈现“W”型发展趋势，大通县等呈现“U”型发展趋势。区别于基于省市级的相关研究，耦合协调度在到达拐点后，受要素制约及政策滞后性等影响，表现为弹性不足和发展滞后。

(3) 湟水流域西宁段各县区主要分布在“双低”协调区域，产业结构升级滞后成为区域发展的主要制约，政府应以提高产业结构升级水平为主要选择。既要重点关注长期处于B_1和C_1类型的县区，同时也要关注低于平均发展线且生态滞后的C_2类型，应以生态效率提升为路径指引，推动产业结构升级，实现C→A、C→B→A或B→A的耦合提升路径。

综合以上结论及区域发展需求，湟水流域西宁段若想打破该束缚，实现产业结构升级与生态效率提升的协同发展，就需要从内部突破资源约束、从外部实现制度公平分配。具体来看，从流域内部寻找突破点，通过多方评估各县区产业结构升级与生态效率提升固化情况，因地施策，实施两系统单个突破或协同发展的战略，实现两系统耦合提升。同时立足全流域发展视角，统筹协调、平衡制度安排、推动资源合理配置、促进要素充分流动、减少环境破坏，不断强化经济高质量发展与生态环境的深度融合，实现区域间协同发展，推动各县区两系统耦合提升，最终实现区域可持续发展。

参考文献(References)

[1] 齐润泽, 潘竟虎. 河湟地区生态脆弱性时空演变及影响因素研究[J]. 干旱区研究, 2023, 40(6): 1002-1013. [Qi Runze, Pan Jinghu. Spatial and temporal evolution of ecological vulnerability and its influencing factors in the Hehuang area[J]. Arid Zone Research, 2023, 40(6): 1002-1013.]

[2] 西宁市政府. 中共西宁市委关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议[N]. 西宁晚报, 2021-01-29(A04). [Xining Government. Proposal of the Xining municipal committee of the communist party of China on formulating the fourteenth five-year plan for national economic and social development and the visionary goals for 2035[N]. Xining Evening News, 2021-01-29(A04).]

[3] 杨东阳, 张晗, 苗长虹, 等. 黄河流域生态效率与产业结构转型驱动作用研究[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2023, 51(1): 1-11, 171. [Yang Dongyang, Zhang Han, Miao Changhong, et al. Study on eco-efficiency and the driving effects of industrial structure transformation in the Yellow River Basin[J]. Journal of Henan Normal University (Natural Science Edition), 2023, 51(1): 1-11, 171.]

[4] 顾典, 徐小晶. 中国产业结构优化升级对生态效率的影响[J]. 生态经济, 2020, 36(6): 58-67. [Gu Dian, Xu Xiaojing. The influence of industrial structure optimization and upgrading on ecological efficiency in China[J]. Ecological Economy, 2020, 36(6): 58-67.]

[5] 郑金辉, 徐维祥, 陈希琳, 等. 长江经济带多维产业结构对资源环境承载力影响的空间效应[J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(1): 1-13. [Zheng Jinhui, Xu Weixiang, Chen Xilin, et al. Spatial effect of multidimensional industrial structure on resource and environmental carrying capacity in Yangtze River Economic Belt[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2023, 32(1): 1-13.]

[6] 杨坤, 汪万. 长三角地区协同创新、产业结构与生态效率耦合协调发展的时空演化[J]. 科技管理研究, 2020, 40(21): 80-87. [Yang Kun, Wang Wan. Spatial-temporal evolution of the coupling coordinated development among synergic innovation, industrial structure and ecological efficiency in Yangtze River Delta[J]. Science and Technology Management Research, 2020, 40(21): 80-87.]

[7] 冯曦明, 张仁杰. 产业结构变迁、绿色生态效率与区域经济增长[J]. 统计与决策, 2021, 37(21): 104-108. [Feng Ximing, Zhang Renjie. Industrial structure change, green eco-efficiency and regional economic growth[J]. Statistics & Decision, 2021, 37(21): 104-108.]

[8] 朱泽原, 庞庆华, 张丽娜, 等. 黄河流域产业结构高级化与生态效率的耦合路径识别及空间治理[J]. 科技管理研究, 2021, 41(22): 116-125. [Zhu Zheyuan, Pang Qinghua, Zhang Lina, et al. Coupling path identification and spatial governance of advanced industrial structure and ecological efficiency in the Yellow River Basin[J]. Science and Technology Management Research, 2021, 41(22): 116-125.]

[9] 孙利娟. 生态文明视角下的产业升级最优路径模型——来自上海市的证据[J]. 技术经济与管理研究, 2016, 234(1): 114-118. [Sun Lijuan. Research on industrial upgrading path under the perspective of ecological civilization: Evidence from Shanghai City[J]. Journal of Technical Economics Management, 2016, 234(1): 114-118.]

[10] 吴小节, 杨尔璞, 汪秀琼. 中国省域生态文明建设与产业升级的耦合协调发展[J]. 统计与决策, 2020, 36(20): 58-61. [Wu Xiaojie, Yang Erpu, Wang Xiuqiong. Coupled and coordinated development of ecological civilization construction and industrial upgrading in Chinese provinces[J]. Statistics & Decision, 2020, 36(20): 58-61.]

[11] 李鸿飞, 何颖茹, 毕晓莉. 黄河流域兰州段生态环境与高质量发展耦合协调关系研究[J]. 干旱区地理, 2022, 45(4): 1244-1253. [Li Hongfei, He Yingru, Bi Xiaoli. Coupling coordination relationship between ecological environment and high-quality development in Lanzhou section of Yellow River Basin[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(4): 1244-1253.]

[12] 徐晓光, 寇佳丽, 郑尊信. 产业结构升级与生态环境优化的耦合协调[J]. 宏观经济研究, 2022, 285(8): 131-156. [Xu Xiaoguang, Kou Jiali, Zheng Zunxin. Coupling coordination of industrial structure upgrading and ecological environment optimization[J]. Macroeconomics, 2022, 285(8): 131-156.]

[13] 宋马林, 陶伟良, 翁世梅. 区域产业升级、政府创新支持与能源生态效率的动态关系研究: 淮河生态经济带的实证分析[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2021, 21(4): 119-132. [Song Malin, Tao Weiliang, Weng Shimei. Research on the dynamic relationship between regional industrial upgrade, government innovation support and energy eco-efficiency: An empirical study of the Huaihe River Eco-economic Belt[J]. Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition), 2021, 21(4): 119-132.]

[14] 刘蒙罢, 张安录, 熊燕飞. 长江经济带城市土地利用生态效率空间差异及其与产业结构升级的交互溢出效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(10): 125-139. [Liu Mengba, Zhang Anlu, Xiong Yanfei. Spatial differences of urban land use ecological efficiency in the Yangtze River Economic Belt and its interactive spillover effects with industrial structure upgrading[J]. China Population, Resources and Environment, 2022, 32(10): 125-139.]

[15] 邓荣荣, 张翱祥. 长江经济带生态效率与产业结构升级的协调度[J]. 华东经济管理, 2021, 35(2): 39-47. [Deng Rongrong, Zhang Aoxiang. The coordination degree between ecological efficiency and industrial structure in the Yangtze River Economic Belt[J]. East China Economic Management, 2021, 35(2): 39-47.]

[16] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.

[17] Tone K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envel-

opment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 143(1): 32-41.

[18] Tone K. Dealing with undesirable outputs in DEA: A slacks-based measure (SBM) approach[R]. Toronto: Presentation at NAPW Ⅲ, 2004: 44-45.

[19] 高志刚, 童思聪. 基于非期望产出的新疆区域生态经济投入效益分析[J]. 干旱区地理, 2020, 43(3): 777-785. [Gao Zhigang, Tong Sichong. Regional eco-economic input efficiency of Xinjiang based on undesirable output[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(3): 777-785.]

[20] 吴传清, 周西一敏, 黄成. 长江经济带产业结构优化与生态文明建设的耦合协调关系研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2020, 54(4): 555-566. [Wu Chuanqing, Zhou Xiyimin, Huang Cheng. Study on the coupling and coordination relationship between the optimization of industrial structure and the construction of ecological civilization in the Yangtze River Economic Belt[J]. Journal of Central China Normal University (Natural Sciences Edition), 2020, 54(4): 555-566.]

[21] 唐晓华, 张欣珏, 李阳. 中国制造业与生产性服务业动态协调发展实证研究[J]. 经济研究, 2018, 53(3): 79-93. [Tang Xiaohua, Zhang Xinyu, Li Yang. Dynamic coordination development in China's manufacturing and manufacturing-related service industries[J]. Economic Research Journal, 2018, 53(3): 79-93.]

[22] 周迪, 王雪芹. 中国碳排放效率与产业结构升级的耦合度及耦合路径[J]. 自然资源学报, 2019, 34(11): 2305-2316. [Zhou Di, Wang Xueqin. Research on coupling degree and coupling path between China's carbon emission efficiency and industrial structure upgrade[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(11): 2305-2316.]

[23] 干春晖, 郑若谷, 余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. 经济研究, 2011, 46(5): 4-16, 31. [Gan Chunhui, Zheng Ruogu, Yu Dianfan. An empirical study on the effects of industrial structure on economic growth and fluctuations in China[J]. Economic Research Journal, 2011, 46(5): 4-16, 31.]

[24] 张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000[J]. 经济研究, 2004(10): 35-44. [Zhang Jun, Wu Guiying, Zhang Jipeng. The estimation of China's provincial capital stock: 1952—2000[J]. Economic Research Journal, 2004(10): 35-44.]

Coupling path identification of industrial structure upgrading and eco-efficiency enhancement in Xining section of Huangshui Basin

CHEN Chaochao, MA Dingchou, CHEN Qiangqiang

(College of Finance and Economics, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: This study utilizes panel data spanning 2010 to 2021 from seven counties and districts within the Xining section of the Huangshui Basin. Employing the Super-Undesirable SBM model and an extended coupling coordination model, we assess the levels of industrial structure upgrading and ecological efficiency enhancement. Additionally, we evaluate the coupling coordination between these two systems, identifying optimal paths through the coordinate classification method. The findings reveal: (1) Substantial regional variations exist in both industrial structure upgrading and ecological efficiency enhancement across the sample area. The spatial distribution exhibits a pattern of prominence in the center and weakness on the sides. (2) The overall coupling and coordination levels among the counties and districts demonstrate a lack of high coherence, marked by significant regional disparities. Most areas fall into the transitional coupling stage with weak elasticity. (3) The solidification of industrial structure upgrading emerges as the primary impediment to achieving a higher level of coupling coordination in the region. Developing coupling paths should prioritize regions characterized by the "double-low" type, steering clear of the pitfalls associated with "low-level coordination". In conclusion, this study recommends internal breakthroughs to address resource constraints and external strategies to achieve a balanced distribution within the systems.

Key words: industrial structure upgrading; eco-efficiency enhancement; coupling coordination; coupling path identification; Huangshui Basin